

Seel, Norbert M.

Wissenserwerb durch Medien und "mentale Modelle"

Unterrichtswissenschaft 14 (1986) 4, S. 384-401



Quellenangabe/ Reference:

Seel, Norbert M.: Wissenserwerb durch Medien und "mentale Modelle" - In: Unterrichtswissenschaft 14 (1986) 4, S. 384-401 - URN: urn:nbn:de:01111-pedocs-296116 - DOI: 10.25656/01:29611

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:01111-pedocs-296116>

<https://doi.org/10.25656/01:29611>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Allgemeiner Teil

Norbert M. Seel

Wissenserwerb durch Medien und „mentale Modelle“*

Der Beitrag thematisiert den Zusammenhang zwischen der Informationsdarbietung durch Medien und der Repräsentation durch „mentale Modelle“; diese sind theoretische Konstrukte der Kognitionswissenschaft und werden als kohärente Wissenseinheiten definiert, die verschiedenen Funktionen (hauptsächlich in den Bereichen der Wahrnehmungs- und Denkmodellierung) dienen. In bisherigen Untersuchungen zum Fragenkomplex „mentale Modelle“ wird Medien eine besondere Signifikanz für die Modellbildung zugewiesen, wobei auf die Funktion der Veranschaulichung und die heuristische Funktion von Medien Bezug genommen wird. Der Beitrag soll deshalb insbesondere die Frage thematisieren, ob Medien als Darstellungsmittel in einer wie auch immer gearteten Form die Modalität der mentalen Repräsentation beeinflussen. Hierauf bezogen werden sodann mediendidaktische Implikationen aufgezeigt.

Learning by media and „mental models“

The connection between the way informations are presented through media and the representation through „mental models“ is pointed out. Mental models are theoretical constructions of the cognitive science and are defined as coherent units of knowledge serving various functions (mainly in the scope of perception-modelling and modelling of thoughts). In previous studies regarding the question of the „mental models“ media are described as especially important for building up models; in this connection reference is made to the function of illustration and to the heuristic function of media. Therefore the article especially asks, whether media – as a way of presentation – can influence the modality of the mental representation to any extent. Referring to this there are furthermore shown mediadidactic implications.

1. Einleitung

Die gegenwärtige Kognitionswissenschaft ist in erster Linie auf dem Ansatz der Informationsverarbeitung begründet. Mit dessen Hilfe wurde es beispielsweise in Zusammenhang mit der Erforschung menschlichen Problemlösens möglich, den „Problemraum“ zu analysieren, der die verschiedenen Wissenszustände eines Problemlösers, die Transformationen zwischen Wissenszuständen und die zugrundeliegenden Operatoren repräsentiert.

* Überarbeitete Fassung eines Vortrags beim Workshop „WISSEN – WISSENSREPRÄSENTATION“ der Arbeitsgruppe Kognition in der GI in München, 19.–20. März 1986.

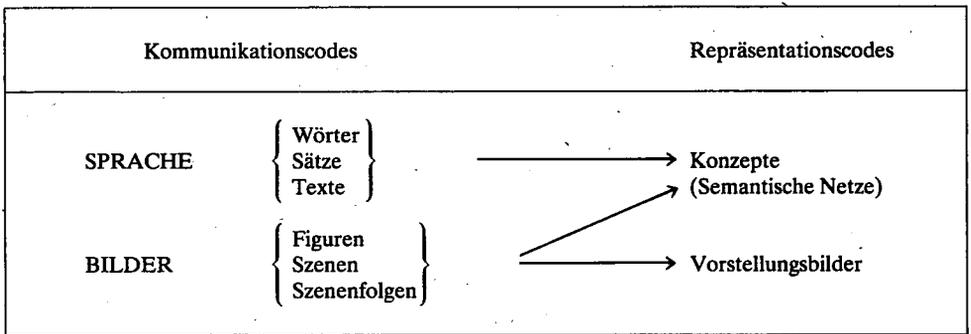
In diesem Zusammenhang kommt der *Wissensrepräsentation* grundlegende Bedeutung zu. Dies wird besonders deutlich in Experimenten zu *strukturisomorphen* Problemen (z. B. „Turm von Hanoi“, „Monster-Problem“), in denen sich trotz Strukturgleichheit Unterschiede in der Problemlöseleistung zeigten. Da diese Unterschiede nicht auf die Verschiedenartigkeit der Problemstruktur oder auf individuelle Differenzen zurückgeführt werden können, müssen sie in der Art und Weise begründet sein, in der die Personen den Problemraum „modellieren“, d. h. ihn sich vorstellen oder darüber denken. Die Bedeutung der Wissensrepräsentation wird auch durch Arbeiten zur Repräsentation physikalischen Wissens (von Experten und Novizen) und zu Effekten von realem Weltwissen auf die Lösung (isomorpher) logischer Probleme (Syllogismen) bestätigt (vgl. *Chi et al.* 1981; *Kotovsky et al.* 1985; *Sanford* 1985). Um der Bedeutung der Repräsentation von Wissen für verschiedene Denkaufgaben zu entsprechen, wurde von verschiedenen Kognitionswissenschaftlern das *Konzept der mentalen Modelle* entwickelt (vgl. *Gentner* 1983; *Johnson-Laird* 1983). Die Grundidee dabei ist, daß die Konstruktion eines mentalen Modells die Problemlöseleistung determiniert. Das Erkennen bzw. Ausfindigmachen der Form eines Problems wird verstanden als eine Interpretation der Problemraumkonstituenten vermittelt einer Abbildung zwischen einer Gedächtnisspur und bestimmten relevanten Elementen der Aufgabenstellung, woraus ein „*mentales Modell*“ resultiert.

Dabei spielt offensichtlich die Art und Weise der Problemdarbietung eine besondere Rolle, wie verschiedene Untersuchungen belegen. So weisen einige Experimente darauf hin, daß für Problemlöseprozesse andere als verbale Informationsdarbietungen wirksamer sind (vgl. *Jülich & Krause* 1976; *Mayer* 1976); besondere Effizienz weisen diesbezüglich graphische Darstellungen auf. Generell wird der Visualisierung objektiver Gegebenheiten durch Diagramme und Graphiken große Bedeutung für die Erzeugung mentaler Modelle zugesprochen: Visualisierungen durch spezifische ikonische Darstellungsmittel fungieren als *Repräsentationshilfen* und stellen als solche symbolische physikalische Extensionen mentaler Modelle dar (vgl. *Sanford* 1985). Mit dem Zusammenhang von Informationsdarbietung durch Medien und der Repräsentation von Wissen mit Hilfe mentaler Modelle will ich mich im folgenden befassen.

2. Informationsdarbietung durch Medien und Wissensrepräsentation

„*Wissen*“ kann funktional als Kompetenz für die Erzeugung intelligenten Verhaltens eines Systems beschrieben werden, während „*Wissensrepräsentation*“ eher strukturell verstanden werden kann: Sie bezieht sich stets auf die erfahrbare Ding- und Ereigniswelt und stellt deren Abbildung in internale/mentale Strukturen dar. Intelligente Systeme (IS) repräsentieren Wissen als Vorstellungen oder Gedanken mittels Symbolen und Zeichensystemen, auf denen kognitive Prozesse operieren, um die Repräsentationen zu modifizieren oder zu transformieren. Das impliziert,

daß das IS über die Fähigkeit verfügen muß, mit den zugrundeliegenden Symbolen und Zeichensystemen zu handeln. Ich bezeichne diese Symbole und Zeichensysteme, die der Wissensrepräsentation dienen, als *Repräsentationscodes* und stelle ihnen die *Kommunikationscodes* als Verschlüsselungen von Informationen über die externe Welt gegenüber. In Anlehnung an *Aebli* (1981) kann auch eine Unterscheidung in „interne und externe Medien“ vorgenommen und auf Repräsentations- bzw. Kommunikationscodes bezogen werden (vgl. *Strittmatter & Seel* 1984). Die gebräuchlichsten Kommunikationssysteme sind zweifellos die *Sprache* und *Bilder*. Denen entsprechen auf der mentalen Ebene die *Konzepte* (bzw. konzeptuellen Strukturen) und *Vorstellungsbilder*, wobei Sprachausdrücke und Konzepte diskrete Einheiten, Bilder und Vorstellungsbilder analoge Einheiten der Präsentation bzw. Repräsentation sind.



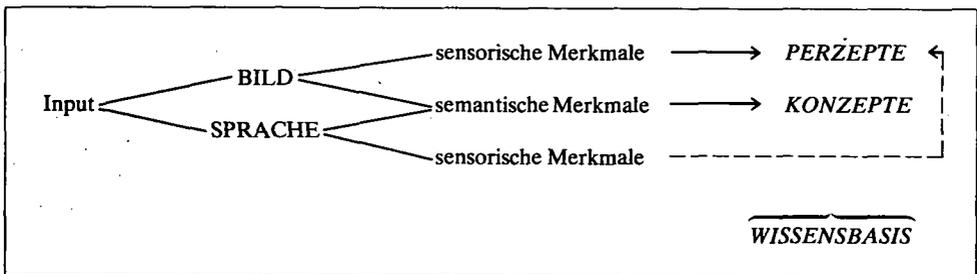
Diese Einteilung bzw. Zuordnung orientiert sich an dem gegenwärtig in der Kognitionswissenschaft dominierenden „multiple-code-approach“, der die Existenz multipler Codes der Wissensrepräsentation behauptet (vgl. *Anderson* 1983; *Glucksberg* 1984; *Kolers & Brison* 1984). *Piaget* (1959) hat diesen Ansatz im wesentlichen durch die „semiotischen Funktionen“ vorweggenommen, wobei er „Innere Nachahmung“, „Symbolspiel“, „Zeichnung“, „Vorstellungsbilder“ und „Sprache“ (in der Reihenfolge ihres ontogenetischen Auftretens) unterschied. In Anlehnung hieran hat *Bruner* (1970) zwischen einer „enaktiven“, „ikonischen“ und „symbolischen Repräsentation“ unterschieden und diese entsprechenden Medien der Informationsdarbietung zugeordnet.

Eine Analyse der Theorie *Piagets* zeigt, daß dieser mit der Unterscheidung in verschiedene semiotische Funktionen nicht die Annahme multipler Repräsentations- bzw. Gedächtnissysteme verbunden hat wie beispielsweise *Paivio* (1978, 1983) mit seiner „dual-code-theory“. Vielmehr vertritt *Piaget* die Auffassung eines *einheitlichen Repräsentationssystems*, das neben semantischen Merkmalen auch physikalische, d.h. anschauungsgebundene Merkmale einschließt, im wesentlichen aber aus abstrakten Datenstrukturen besteht, die ich in Anlehnung an *Levesque* (1984) als „Wissensbasen“ bezeichne. Wissensbasen bewahren Informationen über einen Bereich der objektiven Wirklichkeit in Form abstrakter-amodaler Daten. IS intera-

gieren mit den Wissensbasen und sind aufgrund einer kleinen Menge von Operationen imstande, beispielsweise Vorstellungsbilder zu konstruieren, die als Rekonstruktionen früherer Wahrnehmungserlebnisse zu verstehen sind, insofern modalitätsspezifische Merkmale in ihrer Entsprechung zu Wahrnehmungserlebnissen auf die abstrakten Datenstrukturen bezogen werden (vgl. hierzu *Feldman* 1981). Dem liegt die Idee zugrunde, daß zwischen Repräsentation und Wahrnehmung ein kontinuierliches Wechselspiel besteht.

Informationsverarbeitung, die beim Menschen im wesentlichen simultan (z. B. auditiv und visuell) bzw. parallel vollzogen wird (vgl. *Anderson & Hinton* 1981; *Feldman & Ballard* 1982), bezieht sich primär auf die *Extraktion von Bedeutung* aus dem Informationsangebot; dabei werden stets auch sensorische Attribute von Objekten und Ereignissen beachtet und als „*Perzepte*“ gespeichert. Eine Gedächtnis Spur besteht aus vielen differenten Arten gespeicherter Information.

Indem eine Einengung auf die genannten Kommunikations- und Repräsentationscodes vorgenommen wird, kann folgender Zusammenhang zwischen Informationsdarbietung und Repräsentation zugrunde gelegt werden.



Aufbau und Entwicklung der Wissensrepräsentation sind primär auf *Lernprozessen* begründet, die größere Kompetenz in der Anwendung und Nutzung von Wissen bewirken: In diesem Sinne bezieht sich *Lernen* auf jede Veränderung von Wissen und ist somit eine Folge von Zustandsänderungen von Wissen. Dabei kann grundsätzlich unterschieden werden in ein *Lernen auf der Basis direkter Erfahrungen* und ein *Lernen auf der Basis von Medien* (vgl. *Bruner & Olson* 1973): IS können auch aufgrund von Instruktion Wissen erwerben, ohne mit den vermittelten Sachverhalten und Ausschnitten der Welt direkten Kontakt haben zu müssen. Hierbei kommt (personalen und nicht-personalen) *Medien als Träger und/oder Vermittler von Informationen* besondere Bedeutung zu. Diese stellen das „Eingangsmaterial“ für die Informationsverarbeitung bereit: Bei der Darbietung physikalisch beschreibbarer Objekte (z. B. durch Bilder) werden spezifische Mechanismen im visuellen System (die „Detektoren“) aktiviert, die derart auf das neurale System einwirken, daß über Vergleiche mit früheren (ähnlichen) Wahrnehmungserlebnissen mentale Repräsentationen zustandekommen. Aus dem Informationsangebot wird die *Bedeutung* herausgefiltert und als Repräsentation auf das Referenzobjekt bezogen. Das vielleicht wesentlichste Merkmal von IS besteht in deren Fähigkeit, mentale Re-

präsentationen zu entwickeln und mit der äußeren Welt *symbolisch* zu handeln. Dies von der Wahrnehmung der Objektwelt zu trennen ist unmöglich, da diese das Material für die kognitiven Operationen bereitstellt.

Auf die Informationsverarbeitung wirken *externale* Bedingungen („constraints“) aufgrund der Modalität und des Formats der Reizdimensionen und -strukturen ein sowie *internale* Bedingungen aufgrund des Formats der Codierung und der Strategien, bestimmte kognitive Operationen auf ihr zu vollziehen.

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der individuellen Auseinandersetzung mit der äußeren Welt, auch wie sie durch Medien vermittelt wird, und der mentalen Repräsentation. Verschiedentlich wird deshalb in der kognitionswissenschaftlichen Literatur die Frage aufgeworfen, ob ein spezifisches Medium aufgrund seiner Darstellungsmodalität im Bereich der mentalen Repräsentation bestimmte Symbole und Zeichensysteme bewirke, indem es nahelegt, die Informationen in einem mit der Präsentationsmodalität kongruenten Format zu speichern (vgl. *Mani & Johnson-Laird* 1982; *Reeves et al.* 1982; *Seel & Strittmatter* 1984).

Gelegentlich wird damit die Annahme einer *Internalisierung* externer Erscheinungsformen und Strukturen im Sinne einer Übernahme oder Verinnerlichung verbunden, wie am Beispiel des von *Salomon* (1972, 1979) entwickelten „Supplantationskonzepts“ gezeigt werden kann. Danach müßten die mentalen Repräsentationen direkte, d. h. analoge Beziehungen auch zu Medienmerkmalen und -inhalten aufweisen, was dann die Frage aufwirft, ob Denken ganz oder teilweise auf eine der Wahrnehmung analoge Repräsentation angewiesen ist (vgl. dazu: *Aebli* 1981). Besondere Bedeutung kommt der Internalisierung von Wahrnehmungserlebnissen in der „Imagery-Debatte“ zu. Ganz offensichtlich sind viele Imagery-Theorien und auch das Supplantationskonzept *abbildungstheoretischer Natur* sowohl aus erkenntnistheoretischer als auch kognitionswissenschaftlicher Sicht unhaltbar (vgl. *Prauss* 1980). Psychologisch angemessener ist eine *deutungstheoretische Sichtweise*, wie ich sie skizziert habe, indem ich auf die permanente *Extraktion von Bedeutungen* aus dem Informationsangebot hingewiesen habe. Dies schließt natürlich nicht aus, daß auch anschauungsgebundene Attribute der objektiven Wirklichkeit gespeichert werden.

Auch die uns interessierende theoretische Konzeption der mentalen Modelle weist auf eine grundlegende Beziehung zwischen Präsentation und Repräsentation hin, insofern der Visualisierung von Umweltstrukturen auf der Darbietungsebene und der Erzeugung von Vorstellungsbildern auf der Repräsentationsebene grundlegende Bedeutung zuerkannt wird (vgl. *Dörr et al.* 1986; *Johnson-Laird* 1983). Vorläufer zu dieser Konzeption sind bereits in der Informationstheorie zu finden, wo „Lernen“ als gradueller Aufbau von *internen Modellen* der Außenwelt aufgefaßt wird (vgl. *Cube* 1965; *Weltner* 1970). Dies entspricht dem neopragmatischen *Modellkonzept der Erkenntnis*, wie es *Stachowiak* (1973) in die wissenschaftliche Diskussion eingebracht hat. Danach ist jede Erkenntnis eine Erkenntnis in Modellen bzw. mit Modellen, und jede Interaktion eines IS mit der erfahrbaren Welt bedarf des Mediums „Modell“. „Wissen von etwas“ besteht danach in der Konstruktion oder andersartigen Verfügbarmachung eines internen Modells zu einem Um-

weltausschnitt. Denken ist dann ein Vorgang, der solche Modelle erzeugt und verändert.

3. Mentale Modelle und Medien als „externe Modelle“

Mentale Modelle stellen nach Auffassung verschiedener Kognitionswissenschaftler (z.B. *Johnson-Laird*) eine besondere Form der Wissensrepräsentation dar; sie sind ein „Vermittler“ zwischen der konkret-anschaulichen und der abstrakt-amodalen Repräsentation: Vorstellungsbilder sind „Beispiele“ von mentalen Modellen, die ihrerseits wiederum das Produkt der Interaktion des IS mit seinen Wissensbasen sind, die als Datenstrukturen in abstrakt-amodaler Art (z.B. als Propositionen oder konzeptuelle Graphen) kodiert sind.

Verständnis der äußeren Welt entwickelt sich als eine fortgesetzte Konstruktion von mentalen Repräsentationen: Jedes Informationsangebot kann immer nur vor dem Hintergrund der bereits vorliegenden Erfahrungen und Repräsentationen verstanden und interpretiert werden. In diesem Sinne sind mentale Modelle Konstruktionen im Bereich des „Arbeitsgedächtnisses“ auf der Basis abstrakt-amodalen gespeicherten Wissens über einen Sachverhalt, das kombiniert wird mit entsprechenden gespeicherten Wahrnehmungserlebnissen (den „Perzepten“). Das „Arbeitsgedächtnis“ ist die Instanz der zentralen Verarbeitung, wo Input-Informationen so lange gespeichert werden, bis eine „Passung“ an die im LZG vorliegenden Repräsentationen vollzogen ist, um dann weitere kognitive Operationen zu ermöglichen. Das AG wird ständig mit Inhalten gefüllt, die aus dem LZG stammen; dadurch wird das Erkennen des laufenden sensorischen Inputs und das Erinnern früherer Zustände des AG reguliert: Das AG gibt die augenblickliche Vorstellung von der Umwelt wieder, interpretiert durch das LZG.

Denken stellt die Transformation aktivierter LZG-Repräsentationen durch einen kontrollierten Prozeß dar, der sowohl den sensorischen Input als auch die Regeln der Transformation umfaßt, die wiederum im LZG gespeichert sind. Dieser Prozeß ist an die Existenz mechanisch ablaufender Prozeduren gebunden. Die Entwicklung mentaler Modelle kann folgendermaßen (siehe Seite 390) dargestellt werden (vgl. *Sowa* 1984):

Die „Passungs-Instanz“ sucht im LZG nach Perzepten und Konzepten, die für die Assimilation des Sensorischen Inputs geeignet sind, ihn in bestehende Vorstellungen integrieren und ihm dadurch Bedeutung verleihen; somit kommt den Wissensbasen und den Regeln der Transformation von Wissen eine zentrale Bedeutung zu. Die bei der Informationsaufnahme inhärente selektive Aufmerksamkeit bestimmt, welche Teile des Inputs zuerst auf „Passung“ untersucht werden. Der „Assembler“ als Montage-Instanz kombiniert Gedächtnisinhalte unter Zugrundelegung von im LZG vorfindbaren generalisierten Abstraktionen (d.s. Schemata), um so ein internes „(Arbeits-)Modell“ zu konstruieren, das die einlaufenden Informationen an Gedächtnisinhalte „paßt“. Hierbei sind kognitive Mechanismen involviert, die z.B. in Form von Produktionssystemen den Vergleich der Muster von Daten-Input und Gedächtnisbesitz im AG vollziehen.

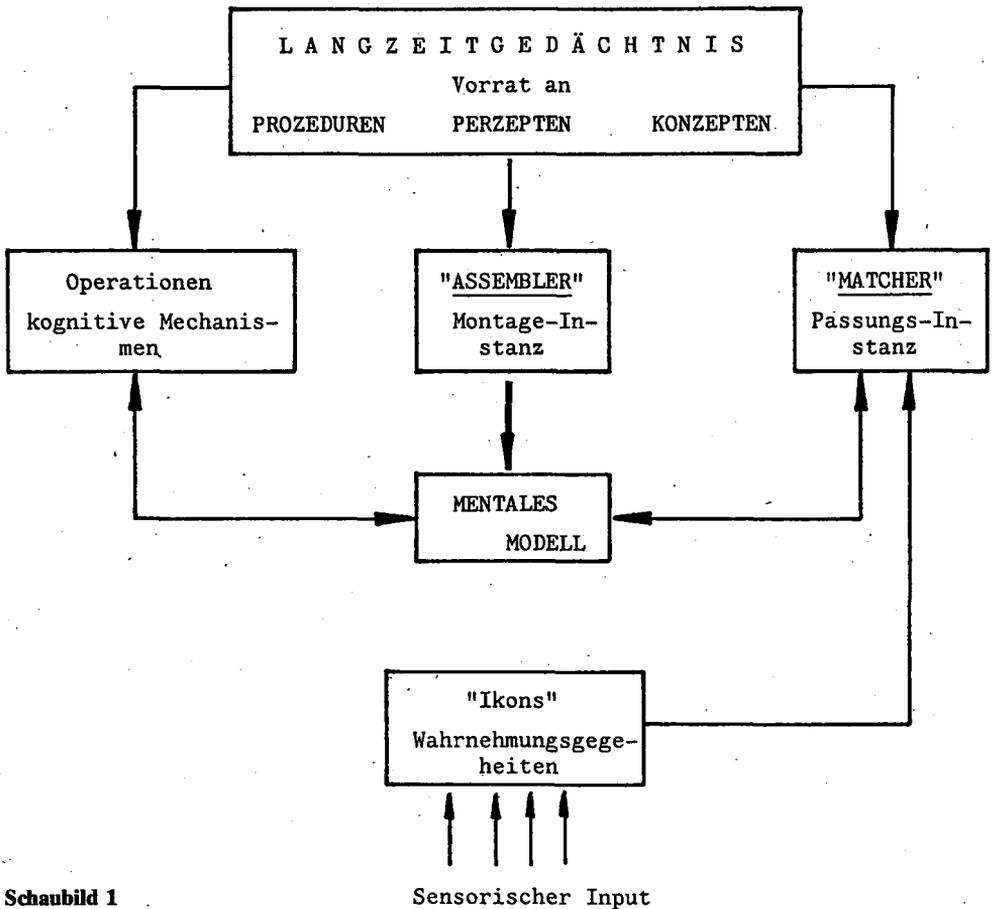


Schaubild 1

In irgendeiner Weise ist jedes mentale Modell auf Wahrnehmung begründet: Entweder liegen unmittelbare Wahrnehmungserlebnisse zugrunde oder aber Rekonstruktion früherer Wahrnehmungen vor dem Hintergrund gespeicherten domänenspezifischen Wissens (d.i. „Imagery“). Das weist auf eine grundlegende Übereinstimmung in den Funktionen von mentalen Modellen und Informationsdarbietungen durch Medien hin: Mentale Modelle dienen in erster Linie der Erklärung von Realitätsbereichen, die sich infolge großer Komplexität oder prinzipieller Unanschaulichkeit der unmittelbaren Wahrnehmung entziehen; hier erzeugen mentale Modelle *subjektive Plausibilität* in bezug auf die Umwelt und Vorstellungsbilder „verbeispielen“ die entsprechenden subjektiven (oft naiven) Annahmen. Hierfür bieten Astronomie, Alltagsphysik usw. anschauliche Beispiele.

Medien ihrerseits erfüllen primär die Funktion, solche Phänomene der Ding- und Ereigniswelt zu *veranschaulichen* bzw. zu konkretisieren, die der direkten Erfahrung nicht zugänglich sind. Infolgedessen können Medien eine Basis für *analogie-begründetes Lernen* (i.S. von Winston 1980) bilden: Sie entlasten (beispielsweise durch Verwendung graphischer Darstellungen komplexer Zusammenhänge) das

AG, da dies dann nurmehr eine Suche nach „passenden“ Gedächtnisstrukturen vollziehen, aber keine Wahrnehmungserlebnisse regenerieren muß, um die komplexen Zusammenhänge zu verdeutlichen.

Medien sind im Grunde nichts anderes als „externe Modelle“, welche die Ding- und Ereigniswelt *abbilden*, wobei sie allerdings nicht alle Merkmale des abzubildenden Bereichs erfassen, sondern nur eine Auswahl an subjektiv relevanten Merkmalen. Über diese *Abbildungsfunktion* hinaus weisen Medien weitere Funktionen auf, die insbesondere für die Wissensrepräsentation und die Entwicklung mentaler Modelle bedeutsam sind:

(1) Jede Informationsverarbeitung ist nur teilweise auf Wahrnehmung begründet; stets sind Inferenzbildungen, Induktions- und Analogieschlüsse involviert. Je nachdem, wie ein Medium nun ein Phänomen präsentiert, können qualitativ und quantitativ unterschiedliche Denkprozesse ausgelöst werden. Dies bezeichne ich in Anlehnung an *Walcher (1974)* als die *Heuristische Funktion* von Medien (ein wesentlicher Anwendungsbereich stellt Problemlösen dar).

(2) In kognitionstheoretisch orientierten Arbeiten zu Medienwirkungen wird (wie bereits erwähnt) auch die Auffassung vertreten, daß ein spezifisches Medium aufgrund der verwendeten Zeichensysteme und Symbole bei dem informationsverarbeitenden System eine bestimmte Modalität der Repräsentation gleichsam „kultivieren“ könnte. Diese Annahme betont die *semiotische Funktion* von Medien und ist darin begründet, daß die Repräsentation ebenso auf eine Verschlüsselung der Information angewiesen ist wie die Kommunikation.

Beim Wissenserwerb durch Medien steht die „Abbildungsfunktion“ im Vordergrund: Zum einen die Abbildung einer Struktur der äußeren Welt durch ein Darstellungsmittel (d.i. *externe Modellbildung*) und zum anderen die Abbildung der äußeren Welt, wie sie durch ein Medium dargeboten wird, in mentale Repräsentationen (d.i. *mentale Modellbildung*). Damit kann die mentale Modellbildung in einen mediendidaktischen Rahmen eingebettet werden, indem gefragt wird, wie die Aufbereitung und Darbietung der Informationen durch Medien zum Aufbau möglichst überdauernder und transferwirksamer Vorstellungen beitragen kann. Dies weist auf die Notwendigkeit hin, die Bedingungen der Informationsdarbietung zu spezifizieren, welche die Entwicklung mentaler Modelle erleichtern bzw. ermöglichen. Deshalb stehen zwei Fragen im Vordergrund:

(1) Nach der *Kompatibilität des Mediums mit der jeweiligen Aufgabenstellung* (das betrifft das „Abbildungsverhältnis“ zwischen Sachverhalt und Darstellungsmittel/Medium) und

(2) nach der *Kompatibilität des Mediums mit der mentalen Repräsentation* (das stellt das „Abbildungsverhältnis“ zwischen dem Darstellungsmittel als „externem Modell“ und dem entsprechenden mentalen Modell in den Mittelpunkt).

Aus dem bisher Gesagten wird deutlich, daß sowohl zwischen Objektwelt und Medium als auch zwischen diesem externen Bereich und der mentalen Repräsentation eine *Modellrelation* besteht. Um diesen Begriff zu spezifizieren, greife ich auf die Modelltheorie zurück, wie sie als Synthese von Mathematik und Logik entwickelt wurde.

4. Modelltheoretische Grundlagen

Die Modelltheorie versteht allgemein unter einem „Modell“ ein Objekt M , das Gegenstand, Gegenstandssystem, Symbol, Symbolsystem, Begriffssystem, Prozeß usw. sein kann. M weist zu einem anderen Objekt O , welches das Original ist und eine vergleichbare Mannigfaltigkeit aufweisen kann wie M , gewisse Ähnlichkeiten auf. Diese gestatten Analogieschlüsse von M auf O und erschließen Eigenschaften von O auf der Basis von M .

Modelle sind Konstruktionen Intelligenter Systeme und stellen eine zumindest dreistellige Relation dar:

$$\text{Mod} = (S, M, O).$$

D.h.: M ist für ein System S ein Modell von O aufgrund feststellbarer Ähnlichkeiten zwischen O und M . Durch Hinzunahme der Absicht P , mit der das jeweilige Intelligente System ein Modell erzeugt, wird die Modellrelation vierstellig:

$$\text{Mod} = (S, P, M, O).$$

S kann Mensch, Organismus oder Computer sein; P kann Theoriebildung, Vereinfachung von Aussagen, Erklärung sein und dem Erkenntnisgewinn, der Wissensvermittlung und Konkretisierung oder dem Ersatz von Funktionen dienen. M und O weisen Mannigfaltigkeit auf.

Im Mittelpunkt modelltheoretischer Betrachtung stehen eindeutig die Beziehungen zwischen M und O in Unabhängigkeit vom Zweck der Modellbildung. Die metamathematische Modelltheorie versteht sich als eine „*Struktur-Abbildungs-Theorie*“ und ist auf dem Strukturkonzept und Morphismen begründet. Ich will hier nicht im einzelnen auf die Formalismen eingehen, die mit dem Modellbegriff assoziierbar sind (vgl. hierzu meine Ausführungen in *Seel* i. V.), sondern beschränke mich auf die notwendigen Definitionen.

Als *Struktur* wird ein Tupel bezeichnet, das zumindest aus dem Individuenbereich (als Objektmenge) und einer endlichen Menge von Relationen zwischen Elementen des Individuenbereichs besteht. Sowohl O als auch M bilden Strukturen in diesem Sinne. Die originalseitige Struktur wird mittels der Funktion f in eine modellseitige Struktur abgebildet, wobei f Homomorphismus heißt:

Es seien (O, R) und (M, S) zwei Strukturen, und f sei eine Abbildung mit $f: O \rightarrow M$. Dann heißt f *Homomorphismus*, wenn aus $a_1, a_2 \in R$ stets $(f(a_1), f(a_2)) \in S$ folgt. Modellbildung beruht auf der *Invarianz der Erscheinungsformen* und auf der Übereinstimmung zwischen O und M in relevanten Attributklassen, das heißt es werden nicht alle Elemente und Relationen von O abgebildet, sondern nur solche, die das IS für seinen Zweck P als relevant beurteilt. Eine weitere Abweichung von M gegenüber O kommt durch „informationelle Zutaten“ (d.s. „abundante Merkmale“ i. S. *Stachowiaks*) des modellschaffenden Systems zustande. Dies kann folgendermaßen dargestellt werden:

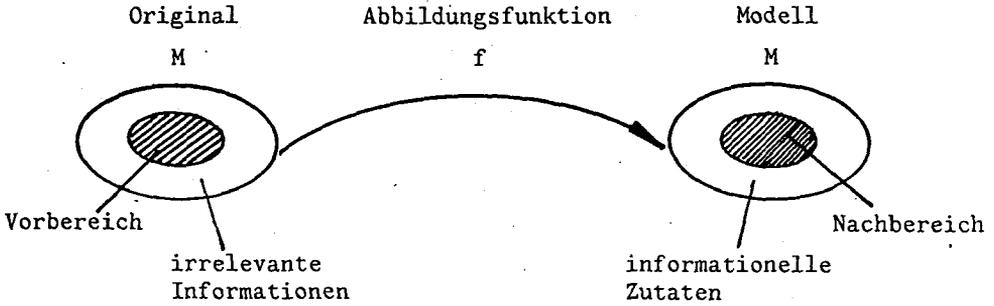
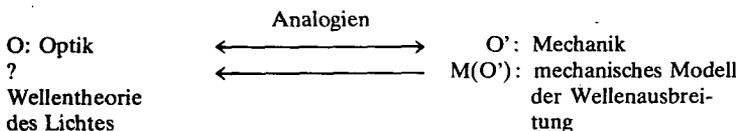


Schaubild 2

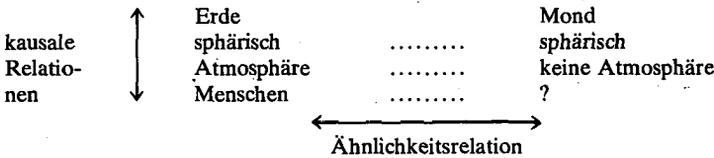
Um die Beziehung zwischen M und O zu spezifizieren, ist neben dem Konzept der Abbildung insbesondere das der *Analogie* nützlich, insofern dadurch verdeutlicht wird, warum f Homomorphismus ist: Aus Abbildung 2 wird klar, daß stets nur gewisse Elemente des originalseitigen Individuenbereichs und Relationen in der modellseitigen Struktur abgebildet werden. Original und Modell entsprechen einander nur in ausgewählten Elementen und Relationen, was durch die Bezeichnung „homomorph“ angemessen ausgedrückt wird, denn dies heißt „von gleicher oder ähnlicher Gestalt“. Ich komme infolgedessen zu folgender Definition: Eine Struktur (M, S) heißt *Modell* einer Struktur (O, R) genau dann, wenn (O, R) *homomorph* in (M, S) abgebildet wird.

Die Grundlage für die Modellbeziehung bildet die *Relation der Ähnlichkeit* bzw. Analogie zwischen Strukturen. Diese ist auf der Übereinstimmung in Attributklassen der jeweiligen Individuenbereiche begründet; dabei gilt: Je größer die Übereinstimmung in einzelnen Attributen ist, desto größer ist die Ähnlichkeit zwischen den Strukturen. Es ist deshalb naheliegend, verschiedene Abstufungen der Ähnlichkeit zu unterscheiden: Besteht eine Ähnlichkeit in struktureller und inhaltlicher Hinsicht, stimmen also nicht nur Relationen zwischen den Elementen der Strukturen überein, sondern auch eine Anzahl der Elemente, wird gelegentlich von einer „*literalen Ähnlichkeit*“ gesprochen; besteht dagegen zwar Übereinstimmung in Relationen, aber ansonsten nur in wenigen Attributen der Elemente der Individuenmengen, ist von „*Analogie*“ die Rede (vgl. *Gentner* 1982, 1983). Analogie in struktureller Hinsicht ist Mindestvoraussetzung für die Modellbildung; die inhaltliche Angleichung tritt ergänzend hinzu und bestimmt das Ausmaß der Korrespondenz von Modell und Original.

Ein gutes Beispiel für eine Analogie stellt das „mechanische Modell der Wellenausbreitung“ dar.



In die Analogiebeziehung gehen stets auch kausale Relationen ein, die vor dem Hintergrund bestehenden allgemeinen oder spezifischen Wissens inferiert werden müssen. Das kann an einem Beispiel von Hesse (1966) verdeutlicht werden:



Eine Analogie besteht gewöhnlich zwischen zwei Objektbereichen aufgrund gemeinsamer Merkmale (z.B. Erde – Mond). Dabei ist generell zu unterscheiden in eine „positive Analogie“ (auf der Basis übereinstimmender Merkmale) und in eine „negative Analogie“ (auf der Basis unterscheidender Merkmale).

Vor dem Hintergrund dieser modelltheoretisch ausgerichteten Betrachtung können nun die für die externe und interne Modellbildung maßgeblichen Aspekte beschrieben werden:

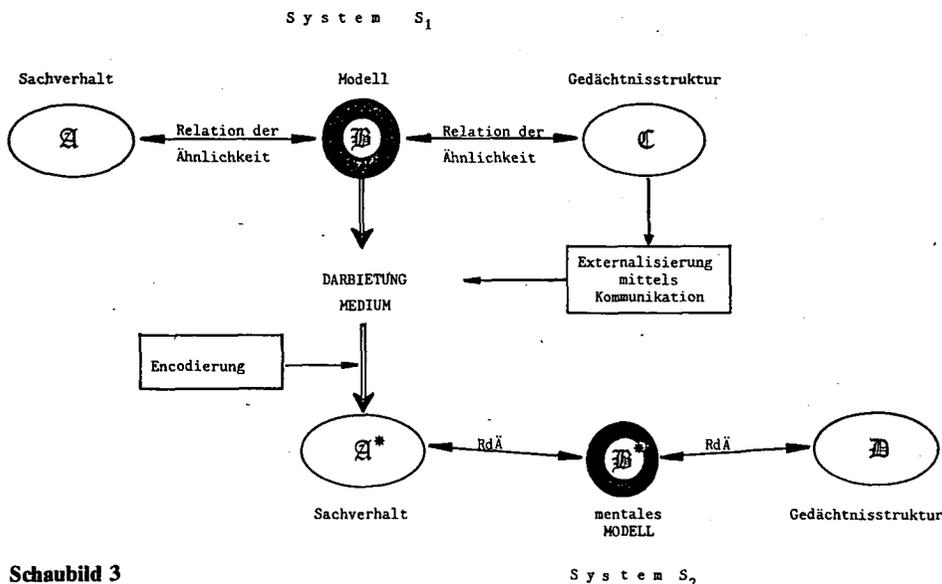
„Externe“ und „interne/mentale Modellbildung“ vollzieht sich nach *Stachowiak* (1973) auf verschiedenen *semantischen Stufen*: Mentale Modellbildung erfolgt auf der „Ersten semantischen Stufe“ und erzeugt „Perzeptionsmodelle“ (als „interne Außenweltmodelle“), auf denen Denkprozesse operieren, die ihrerseits „Kognitive Modelle“ hervorbringen, indem Umstrukturierungen von Repräsentationen vorgenommen und neue Vorstellungen aus Wahrnehmungselementen abgeleitet werden. Hierbei sind Inferenzen, Induktions- und Analogieschlüsse involviert. „Perzeptionsmodelle“ und „kognitive Modelle“ (bzw. nach *Johnson-Laird*: „physical“ und „conceptual models“) ergeben zusammen die Klasse der mentalen Modelle als „Strukturvorstellungen“ i.S. naiver subjektiver Wissensrepräsentationen (vgl. *Larkin* 1983; *Anzai & Yokoyama* 1984). Selbst einfachste „Perzeptionsmodelle“ sind nicht das Produkt einer homomorphen Abbildung von Sachverhalten der Objektwelt in den Bereich mentaler Repräsentationen, sondern stets wird bereits gespeichertes Wissen über den signifikanten Objektbereich oder einen ähnlichen zugeschaltet. Ich gehe davon aus (vgl. *Seel* i. V.), daß jede Konstruktion eines mentalen Modells auf einer „generischen Wissensstruktur“ (d.i. ein *Schema*) begründet ist, die durch äußere und/oder innere Reizgegebenheiten aktiviert wird; Wahrnehmungen liefern die Informationen, die zur Auffüllung der Leerstellen („slots“) des Schemas notwendig sind (vgl. dazu: *Strittmatter & Seel* 1984).

Die „externe Modellbildung“ durch Kommunikationssysteme liegt i.S. *Stachowiaks* auf mindestens der „Zweiten semantischen Stufe“ und ist als „Externalisierung“ interner Modelle zu verstehen, indem deren Vergegenständlichung durch Medien (wie Bilder und Sprache) vollzogen wird. Anders ausgedrückt: Ein „externes Modell“ ist gleichfalls keine unmittelbare Abbildung einer Umweltstruktur in einem Medium, sondern vielmehr Ausdruck der Vergegenständlichung von „internen Modellen“ durch Kommunikation. Die konstruktive Aufbereitung der Infor-

mationsdarbietung in einem Medium vollzieht sich vor dem Hintergrund des subjektiven Wissens des modellschaffenden Systems über den signifikanten Gegenstandsbereich und verfügbare Darstellungsmittel.

Externe und mentale Modellbildung unterscheiden sich vor allem in der Absicht P der Modellschaffenden: Bei der „mentalen Modellbildung“ besteht die Absicht P des modellschaffenden Systems darin, eine plausible subjektive Repräsentation eines bestimmten Phänomens der externen Welt zu erzeugen, auf der sodann weitere kognitive Prozesse operieren können. Bei der „externen Modellbildung“ hat der Modellschaffende S die Intention P, bei irgendeinem (bekanntem) Informationsempfänger kognitive Prozesse auszulösen, die eine „mentale Modellbildung“ bewirken sollen. Der extern zu modellierende Sachverhalt kann dabei sowohl der äußeren Welt als auch der „inneren Welt“ der Vorstellungen des Modellschaffenden angehören. In jedem Falle aber setzt die „externe Modellbildung“ den Einsatz eines Kommunikationssystems, d.h. eines Mediums als Träger und/oder Vermittler der Informationen voraus. Das Medium ist als „externes Modell“ einerseits Produkt der kognitiven Auseinandersetzung eines modellschaffenden Systems S_1 mit einem Sachverhalt, den es mittels Kommunikation darbietet; andererseits stellt es den Input (bzw. die „Lernaufgabe“ i.S. von Seel 1981) für ein modellschaffendes System S_2 dar, das aufgrund einer „Passung“ („*matching*“) der aufgenommenen Informationen mit im LZG gespeicherten Vorstellungen ein „mentales Modell“ zu dem vermittelten Sachverhalt konstruiert. Die Funktion des Mediums (als „externem Modell“) besteht primär darin, der unmittelbaren Beobachtung unzugängliche Zusammenhänge zu verdeutlichen und hierdurch Hilfen für die Vorstellungstätigkeit auf seiten des Rezipienten zu bieten.

Der Zusammenhang zwischen „externen“ und „mentalen Modellen“ kann folgendermaßen dargestellt werden:



5. Mediendidaktische Implikationen

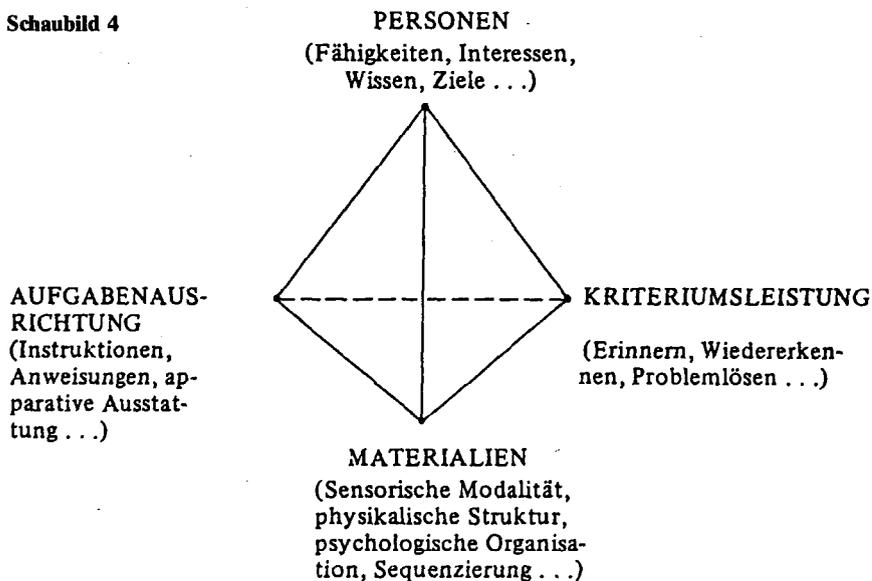
Die Entwicklung eines „externen Modells“, mittels dessen die für einen Umwelt-sachverhalt wesentlichen Informationen dargestellt und an einen Empfänger weitergegeben werden, orientiert sich grundlegend an der Zielsetzung des Modell-schaffenden, den wir der Einfachheit halber als „Lehrsystem“ bezeichnen wollen, beim Empfänger als „Lernsystem“ bestimmte kognitive Prozesse auszulösen und ihm bei der Entwicklung eines mentalen Modells zu helfen. Die Idee dabei ist, daß z.B. durch die Vorgabe graphischer Darstellungen von Gegebenheiten der Ob- jektwelt die Verbeispielung eines mentalen Modells durch ein Vorstellungsbild er- leichtert (bzw. u.U. erst ermöglicht) wird.

Damit dies überhaupt erreicht werden kann, muß das Lehrsystem Vorstellungen und Hypothesen in bezug auf die kognitiven Prozesse des Lernsystems haben. In der KI-Forschung wird dies gegenwärtig unter dem Begriff der „Benutzermodellie- rung“ bzw. „Dialogpartner-Modellierung“ thematisiert (vgl. Kobsa 1985); ich be- vorzuge den Begriff der „Lernprozeßmodellierung“ und verbinde diese mit folgen- der pädagogisch-psychologischen Fragestellung:

- „Wie wird ein spezifischer (Lehr-)Sachverhalt mit den Merkmalen bzw. Attri- butklassen a_1, \dots, a_m , der in dem Medium M_E mit den Merkmalen b_1, \dots, b_n ab- gebildet und durch dieses Medium vermittelt wird, von einem Rezipienten mit den Merkmalen c_1, \dots, c_r verarbeitet, so daß dieser ein „mentales Modell“ M_M mit den Merkmalen d_1, \dots, d_s konstruiert, wenn die Zielkriterien der Aufgabe mit den Merkmalen e_1, \dots, e_t vorgegeben (oder selbstgewählt) sind?“

Diese Frage orientiert sich an dem „tetrahedral model“ von Jenkins (1979) bzw. Bransford (1979), das folgendermaßen wiedergegeben werden kann:

Schaubild 4



(übers. aus Jenkins 1979, S. 432)

Jenkins (1979) und Bransford (1979) geben hierzu folgende Explikationen (vgl. grundlegend auch: Fagley & Miller 1985):

Jenkins (1979)	Bransford (1979)
Personen Fähigkeiten Interessen Wissen Absichten	Lerner-Merkmale Fertigkeiten Wissen Einstellungen
Materialien Sensorische Modalität physikalische Struktur psychologische Organisation psychologische Anordnung	Natur des Materials Modalität (visuell, auditiv, linguistisch etc.) physikalische Struktur psychologische Struktur konzeptuelle Schwierigkeit Sequenzierung von Materialien
Kriterium Reproduktion Rekognition Problemlösen Performanz	Kriterium Rekognition Reproduktion Transfer Problemlösen
Aufgaben-Orientierung Instruktionen Anweisungen Handlungen	Lernaktivitäten Aufmerksamkeit Wiederholung Elaboration

Die Bereitstellung eines Darstellungsmittels, das den Aufbau und die Entwicklung überdauernder und transferwirksamer mentaler Modelle erleichtern bzw. ermöglichen soll, setzt zwingend

- (a) eine Analyse der Struktur des zu vermittelnden Sachverhaltes (i.S. einer „Lehrstoffanalyse“) und
- (b) Wissen über Informationsverarbeitungsprozesse und Prozeduren der mentalen Modellbildung sowie
- (c) Wissen über dabei zu erwartende individuelle Unterschiede bei der Struktur-Abbildung

voraus. Das Ziel des Lehrsystems besteht darin, eine Passung zwischen externaler und internaler Struktur herbeizuführen. Die Grundlage für die Effektivität eines Darstellungsmittels besteht m.E. in der „Kompatibilität“ der Informationsdarbietung mit der gestellten Aufgabe. In dieser Hinsicht „kompatible Informationsdarbietungen“ sollen eine Kodierungs- bzw. Transformationsökonomie für die Aufgabenlösung bewirken, indem die erforderlichen Transformationen in ein mentales Modell minimiert werden. „Kompatible Darstellungsformen“ sollen gedächtnisfreundlich sein und den „automatischen“ Vollzug bestimmter kognitiver Mechanismen erlauben, um dadurch das AG zu entlasten und mehr Kapazität für elaborierte Informationsverarbeitung zu schaffen. Dabei stellt sich die Frage, bis zu wel-

chem Grade der Konkretisierung bzw. Annäherung an die Realität gegangen werden soll. Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Visualisierungen (z.B. Dwyer 1978) zeigen, daß realitätsgetreue Abbildungen nicht immer die lernwirksamsten sind. Besonders wenn die Strukturen komplex sind, dürfte eine schematische, abstrahierende Darstellung effektiv sein (vgl. Einsiedler 1981). Ein prägnantes Beispiel hierfür haben Jülich & Krause (1976) geliefert, indem sie die Überlegenheit abstrahierender Problempäsentation gegenüber verbaler Darbietung demonstriert haben.

Entscheidungen in bezug auf Darstellungsformen und -mittel zu treffen, ohne die individuellen Dispositionen und kognitiven Voraussetzungen des Lernsystems einzubeziehen, ist unsinnig. Jede Instruktion und Aufgabenstellung impliziert, daß spezifische Vorstellungen auf seiten des Lehrsystems in bezug auf die intendierten Informationsverarbeitungsprozesse des Lernsystems vorliegen müssen.

In diesem Zusammenhang ist auf lerntheoretisch fundierte Arbeiten hinzuweisen, wie sie in den 60er und 70er Jahren vorgelegt wurden, um zu begründeten, d.h. auf intendierte Lernprozesse abgestimmte Entscheidungen im Hinblick auf Medien als Mittel für die Darstellung von Informationen zu gelangen. Vor allem die Untersuchungen von Gagné und anderen zu „Lernhierarchien“ sind hier zu nennen, wobei sich die Lernorganisation, also auch die Wahl der Medien, an der Hierarchisierung intellektueller Fähigkeiten orientieren sollte (vgl. Gagné 1969). Infolge ihrer lerntheoretischen Fundierung haben diese Ansätze allerdings die mit der Informationsverarbeitung assoziierten mentalen Prozesse vernachlässigt und den Bereich der Wissensrepräsentation ausgeklammert. Dies trifft in noch stärkerem Maße auf die mediendidaktischen Ansätze zu, die über den Aufbau von „Medientaxonomien“ (ein Gedanke, der übrigens auch auf Gagné zurückgeht) zu didaktischen Entscheidungen hinsichtlich der Auswahl von Unterrichtsmedien gelangen wollten. Die Gründe für das Scheitern dieser Ansätze sind andernorts ausführlich beschrieben worden (vgl. Strittmatter 1983).

Seit Mitte der 70er Jahre stagniert die mediendidaktische Forschung. Abgesehen von einigen Versuchen, z.B. über sog. „Mediensteckbriefe“ doch noch zu begründeten Medienentscheidungen zu gelangen (vgl. Heidt & Loser 1979), und wenigen empirischen Untersuchungen zur Wirksamkeit von visuellen Veranschaulichungen in Texten (vgl. Peeck 1978; Walcher 1974) ist die Mediendidaktik nicht weiter gebracht worden. Dabei war man sich stets darin einig, daß graphische Darstellungen und Illustrationen in Texten, mittels derer Wissensstrukturen aufgebaut werden sollen, eine notwendige Komponente darstellen. Infolge der defizitären Lage der Mediendidaktik ist demgegenüber feststellbar, daß die meisten didaktischen Entscheidungen in bezug auf graphische Darstellungen und deren adäquate Einfügung in Texten intuitiv und in weitgehender Unabhängigkeit von mediendidaktischen Forschungsbefunden erfolgen (müssen). Auch die neueren kognitionstheoretisch begründeten Ansätze der Textforschung (vgl. Ballstaedt et al. 1981) bieten keine solide Grundlage für die angesprochenen mediendidaktischen Entscheidungen. Dafür ist einfach zu wenig bekannt über die Wirkungen von graphischen Darstellungen komplexer Sachverhalte auf die mentalen Repräsentationen von Rezipien-

ten, und es liegen zu wenig Kenntnisse vor in bezug auf die Bedingungen, unter denen graphische Abbildungen sprachliche Informationsdarbietungen ergänzen.

Damit sind zwei Fragestellungen genannt worden, die aus mediendidaktischer und kognitionswissenschaftlicher Sicht forschungsrelevant sind. Ich gehe davon aus, daß die beschriebenen kognitions- und instruktionstheoretischen Betrachtungen in bezug auf die mentale und externe Modellbildung von grundlegender Bedeutung auch für die praktische Gestaltung und Aufbereitung von Lernmaterial sein können, insofern sie eine Basis abgeben für die Herleitung von Hypothesen, die in empirischen Studien geprüft werden können. Ein Untersuchungsbereich stellt z.B. die mentale Modellbildung zu Gegebenheiten der Objektwelt dar, die wegen ihrer Komplexität oder grundsätzlichen Unanschaulichkeit (bzw. Nichtwahrnehmbarkeit) an den Einsatz von Medien (als „externe Modelle“) gebunden sind. Beispiele hierfür sind in der Alltagsphysik zahlreich zu finden. Um zu Erkenntnissen in bezug auf die aufgeworfenen Fragestellungen zu gelangen, sind solide *experimentelle Untersuchungen* mit einer systematischen Variation von Präsentationsbedingungen erforderlich, wobei die mental abzubildende Struktur sowie Aufgabenstellung und Kriteriumsleistung konstant gehalten und die individuellen Unterschiede der Lernenden kontrolliert werden könnten.

Hinweise hierfür geben bereits vorliegende Untersuchungen aus dem Bereich der Problemlöseforschung, wo die bereits eingangs erwähnten Experimente zu „strukturisomorphen“ Aufgabenstellungen auch auf die Bedeutung der Darbietungsmodalität hingewiesen haben (vgl. Carroll et al. 1980; Kotovsky et al. 1985). Überhaupt eignen sich „*Problemlöseprozesse*“ m.E. gut, um die „heuristische Funktion“ von Medien für die mentale Modellbildung zu erforschen. Mentale Modelle konstituieren nämlich die Ausgangsinterpretation des Problemraums, und die Konstruktion eines geeigneten mentalen Modells determiniert die nachfolgende Problemlöseleistung; das erforderliche Ausfindigmachen der Form eines Problems kann als die „Passung“ von Input-Informationen und Gedächtnisstrukturen aufgefaßt werden. Hilfestellungen für die mentale Modellbildung können durch Medien induziert werden, wobei in *produktorientierte* und *prozeßorientierte Hilfen* unterschieden werden kann, je nachdem ob die Lernhilfen die Aufmerksamkeit auf relevante Informationen, brauchbare Vorkenntnisse, vorgegebene Zusammenhänge und Teillösungen lenken oder Hilfestellungen für den Prozeß des Problemlösens geben.

Literatur

- Aebli, H.: Denken: Das Ordnen des Tuns. Band 2: Denkprozesse. Klett-Cotta, Stuttgart 1981.
 Anderson, J. R.: The architecture of cognition. Harvard Univ. Press, Cambridge 1983.
 Anderson, J. A. & Hinton, G. E.: Models of information processing in the brain. In: Hinton, G. E. & Anderson, J. A. (Hrsg.): Parallel models of associative memory. Erlbaum, Hillsdale, N.J. 1981, 9–48.
 Anzai, Y. & Yokoyama, T.: Internal models in physics problem solving. In: Cognition & Instruction 1 (1984), 397–450.
 Ballstaedt, S. P.; Mandl, H.; Schnotz, W. & Tergan, S. O.: Texte verstehen, Texte gestalten. Urban & Schwarzenberg, München 1981.

- Bransford, J. D.: Human cognition: Learning, understanding, and remembering. Wadsworth, Belmont, CA 1979.
- Bruner, J. S.: Der Prozeß der Erziehung. Schwann, Düsseldorf 1970.
- Bruner, J. S. & Olson, D. R.: Lernen durch Erfahrung und Lernen durch Medien. In: *Dichanz, H. & Kolb, G.* (Hrsg.): Quellentexte zur Unterrichtstechnologie II. Klett, Stuttgart 1976, 184–208. (Orig. 1973).
- Carroll, J. M.; Thomas, J. C. & Malhotra, A.: Presentation and representation in design problem-solving. In: *Brit. J. Psychol.* 71 (1980), 143–153.
- Chi, M. T. H.; Feltovich, R. P. & Glaser, R.: Categorization and representation of physics problems by experts and novices. In: *Cognitive Science* 5 (1981), 121–152.
- Cube, F. von: Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens. Klett, Stuttgart 1965.
- Dörr, G.; Seel, N. M. & Strittmatter, P.: Mentale Modelle: Alter Wein in neuen Schläuchen? Mediendidaktische Anmerkungen. In: *Unterrichtswissenschaft* 14 (1986), 168–189.
- Dwyer, F. M.: Strategies for improving visual learning. A handbook for the effective selection, design, and use of visualized materials. Learn. Service, State College (Penns.) 1978.
- Einsiedler, W.: Lehrmethoden. Urban & Schwarzenberg, München 1981.
- Fagley, N. S. & Miller, P. M.: The context of the contexts pyramid model of classroom writing competence. In: *Rev. Educ. Res.* 55 (1985), 1–4.
- Feldman, J. A.: A connectionist model of visual memory. In: *Hinton, G. E. & Anderson, J. A.* (Hrsg.): Parallel models of associative memory. Erlbaum, Hillsdale, N.J. 1981, 49–81.
- Feldman, J. A. & Ballard, D. H.: Connectionist models and their properties. In: *Cognit. Science* 6 (1982), 205–254.
- Gagné, R. M.: Die Bedingungen des menschlichen Lernens. Schroedel, Hannover 1969.
- Gentner, D.: Are scientific analogies metaphors? In: *Miall, D. S.* (Hrsg.): *Metaphor: Problems and perspectives.* Harvester, Brighton (Suss.) 1982, 106–132.
- Gentner, D.: Structure mapping: A theoretical framework for analogy. In: *Cognit. Science* 7 (1983), 155–170.
- Glucksberg, S.: Commentary: The functional equivalence of common and multiple codes. In: *J. Verb. Learn. Verb. Behav.* 23 (1984), 100–104.
- Heidt, E. U. & Loser, F. W.: Individualisierung und Differenzierung des Unterrichts durch eine Differenzierung von Medien. In: *Dichanz, H. & Kolb, G.* (Hrsg.): *Unterrichtstheorie und Medienpraxis.* Klett, Stuttgart 1979, 30–152.
- Hesse, M. B.: Models and analogies in science. Notre Dame Press, Notre Dame, Ind. 1970 (2. Aufl.).
- Jenkins, J. J.: Four points to remember: A tetrahedral model of memory experiments. In: *Cermak, L. S. & Craik, F. I. M.* (Hrsg.): *Levels of processing and human memory.* Erlbaum, Hillsdale, N.J. 1979, 429–446.
- Johnson-Laird, P. N.: Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness. Univ. Press, Cambridge 1983.
- Jülich, B. & Krause, W.: Semantischer Kontext und Problemlösungsprozesse. In: *Klix, F.* (Hrsg.): *Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse.* VEB Dt. Verl. Wiss., Berlin 1976, 274–301.
- Kolers, P. A. & Brison, S. J.: Commentary: On pictures, words, and their mental representation. In: *J. Verb. Learn. Verb. Behav.* 23 (1984), 105–113.
- Kobsa, A.: Benutzermodellierung in Dialogsystemen. Springer, Berlin 1985.
- Kotovsky, K.; Hayes, J. R. & Simon, H. A.: Why are some problems hard? Evidence from tower of Hanoi. In: *Cognitive Psychology* 17 (1985), 248–294.
- Larkin, J. H.: The role of problem representation in physics. In: *Gentner, D. & Stevens, A. L.* (Hrsg.): *Mental models.* Erlbaum, Hillsdale, N.J. 1983, 75–98.
- Levesque, H. J.: Foundations of a functional approach to knowledge representation. In: *Artif. Intelligence* 23 (1984), 155–212.
- Mani, K. & Johnson-Laird, P. N.: The mental representation of spatial descriptions. In: *Memory & Cognition* 10 (1982) 181–187.
- Mayer, R. E.: Comprehension as affected by structure of problem representation. In: *Memory & Cognition* 4 (1976), 249–255.
- Paivio, A.: On exploring visual knowledge. In: *Randhawa, B. S. & Coffman, W. E.* (Hrsg.): *Visual learning, thinking, and communication.* Acad. Press, New York 1978, 113–131.
- Paivio, A.: The empirical case for dual coding. In: *Yuille, J. C.* (Hrsg.): *Imagery, memory and cognition.* Essays in honor for Allan Paivio. Erlbaum, Hillsdale, N.J. 1983, 307–332.

- Peeck, J.*: Die Effekte von Illustrationen zu Texten. In: *Klauer, K. J. & Kornadt, H. J.* (Hrsg.): Jahrbuch für Empirische Erziehungswissenschaft 1978. Schwann: Düsseldorf 1978, 196–229.
- Piaget, J.*: Nachahmung, Spiel und Traum. Klett, Stuttgart 1975 (Orig. 1959).
- Prauss, G.*: Einführung in die Erkenntnistheorie. Wiss. Buchges., Darmstadt 1980.
- Reeves, B.; Chaffee, S. H. & Tims, A.*: Social cognition and mass communication research. In: *Roloff, M. R. & Berger, C. R.* (Hrsg.): Social cognition and communication. Sage, Beverly Hills 1982, 287–326.
- Salomon, G.*: Can we affect cognitive skills through visual media? An hypothesis and initial findings. In: *AV Comm. Rev.* 20 (1972), 401–422.
- Salomon, G.*: Interaction of media, cognition, and learning. Jossey-Bass, San Francisco 1979.
- Sanford, A. J.*: Cognition and Cognitive Psychology. Weidenfeld, London 1985.
- Seel, N. M.*: Lernaufgaben und Lernprozesse. Kohlhammer, Stuttgart 1981.
- Seel, N. M.*: Kognition und Medien. Kalkülisierung/Formalisierung des Konstrukts „mentale Modelle“ als Beitrag für die Hypothesengewinnung im Bereich „Lernen durch Medien“ (i.V.).
- Seel, N. M. & Strittmatter, P.*: Strategien zum Erwerb geographischen Wissens und bildhafter räumlicher Vorstellungen. In: *Unterrichtswissenschaft* 12 (1984), 32–47.
- Sowa, J. F.*: Conceptual structures. Information processing in mind and machine. Addison-Wesley, Reading, MA 1984.
- Stachowiak, H.*: Allgemeine Modelltheorie. Springer, Wien 1973.
- Strittmatter, P.*: „Interne“ und „externe“ Medien – neuere Ansätze für die Medienforschung. In: *Theuring, W.* (Hrsg.): Lehren und Lernen mit Medien. Beiträge aus Medienforschung und Medienpraxis. FWU, Grünwald 1983, 11–23.
- Strittmatter, P. & Seel, N. M.*: Externe und interne Medien – Konzepte der Medienforschung. In: *Unterrichtswissenschaft* 12 (1984), 2–17.
- Walcher, K. P.*: Eine psychologische Untersuchung der Begriffe Anschauung, Anschaulichkeit und Veranschaulichung. Kiel (Diss.) 1974.
- Weltner, K.*: Informationstheorie und Erziehungswissenschaft. Schnelle, Quickborn 1970.
- Winston, P. H.*: Learning and reasoning by analogy. In: *Communications of the ACM* 23 (1980), 689–703.

Verfasser:

Dr. Norbert M. Seel, M.A., Medienzentrum, Universität des Saarlandes, Bau 8, Im Stadtwald,
D-6600 Saarbrücken